

高精度振動数自動推定システムの開発と遠隔計測への適用

長崎大学大学院 学生会員 ○増田 大樹 長崎大学工学部 フェロー 岡林 隆敏
 長崎大学工学部 学生会員 要谷 貴則 長崎大学工学部 正 会 員 奥松 俊博

1. はじめに

構造物に損傷が発生した場合、剛性の低下に伴い構造物の固有振動数は低下する傾向がある。この振動数の変化をモニタリングすることで、構造物の損傷を逆探知することができると考えられる。しかし、そのためには、微小な振動数変化を検出することのできる高精度なモニタリングシステムが必要となる。本研究では、AR モデルによる構造同定アルゴリズム¹⁾を組込んだ高精度振動数自動推定システムを開発し、さらに、移動体通信を利用した遠隔計測への適用を図った。

2. モニタリングシステムの概要

1) モニタリングシステムの構成

本システムは、図-1のような構成になっており、計測用 PC とモニタリング用 PC が計測と解析を分担する。計測現場のサーバ PC は構造物の常時微動を計測し、そのデータを送信する。クライアント PC は、受信したデータをもとに解析を行い、構造物の固有振動数を算出する。観測者は、算出した固有振動数をモニタリングすることで、計測現場を訪れることなく構造物の健全度をほぼリアルタイムで診断することができる。システムのモニタリング画面を図-2に示す。

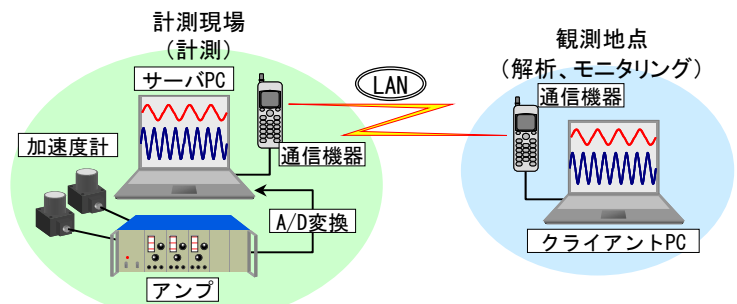


図-1 モニタリングシステムの概要

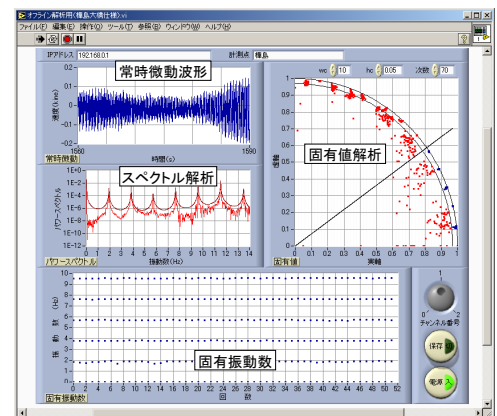


図-2 モニタリング画面

2) 遠隔計測への適用

近年、ネットワーク機器の通信速度、通信距離が向上したことで、安価なネットワーク構成が可能となった。本システムでは、移動体通信や無線 LAN など種々の通信機器を利用し、構造物の遠隔計測を実現している。使用する通信機器は、計測現場周辺の環境と観測地点までの距離を考慮して決定する。

3) 高精度振動数自動推定のアルゴリズム

本システムにおける解析の流れを図-3に示す。解析処理を行うクライアント PC では、主に、①不規則外力から AR モデルを構成する、②構造物の特性と考えられる複素固有値を抽出する、③固有振動数を算出する、といった処理を自動的に実行する。まず、構造系に白色外力系を入力とする外力が作用すると考えて、AR モデル（自己回帰モデル）を構成する。AR モデルは、

$$y(k) + \sum_{s=1}^n a_s y(k-s) = e(k) \cdots (1)$$

で表され、特性方程式とその根は

$$z^n - a_1 z^{n-1} - a_2 z^{n-2} - \cdots - a_n = 0 \cdots (2)$$

$$z_k = X_{\text{Re}}^k + i X_{\text{Im}}^k \cdots (3)$$

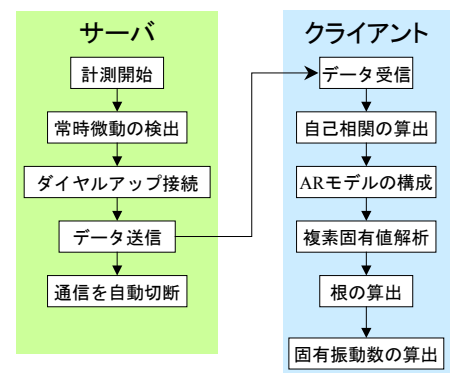


図-3 解析の流れ

キーワード：橋梁維持管理、遠隔モニタリング、損傷診断、構造同定、AR モデル

連絡先：〒852-8521 長崎市文教町 1-14 長崎大学工学部社会開発工学科 TEL 095-819-2627

となる。この根と振動パラメータの関係が

$$h_k \omega_k = (-1/\Delta) \log \sqrt{X_{Re}^2 + X_{Im}^2} \cdots (4)$$

$$\omega_k \sqrt{1 - h_k^2} = (1/\Delta) \tan^{-1}(X_{Im} / X_{Re}) \cdots (5)$$

となることから、振動数 ω_k と減衰定数 h_k が推定できる。ここで、 $e(k)$ は白色雑音過程、 Δ は推定データのサンプリング時間である。求められた複素固有値の中から、繰り返し推定して、変動のない固有値を構造物に対応する固有振動数として抽出する。

4) システムを構成するプログラム

本システム内の計測、通信、解析に関連するプログラムは、仮想計測器ソフトウェア LabVIEW によって作成しており、計測を開始してから固有振動数を算出するまでのすべての工程を自動化している。

3. 計測実験

本システムの有効性を検証するために、実橋梁に適用した遠隔モニタリング実験を行った。対象橋梁は長崎県野母崎町に架設されているランガートラス橋、樺島大橋である。クライアント PC は長崎大学内の研究室に設置した。図-4 に樺島大橋の諸元および計測点を、図-5 に樺島大橋と長崎大学の位置関係を示す。計測現場とクライアント PC との通信距離が約 30km で広域になることから、携帯電話を使用してデータ通信を行う。橋梁の常時微動はサーボ型速度計 VSE-15A（東京測振）で検出し、速度計用増幅器 AV-200-3PD（東京測振）で増幅した信号を A/D 変換した後、サーバ PC に収録する。クライアント PC は、30 秒毎に固有振動数を算出するようにプログラムしており、合計 70 回の解析を行った。計測器の構成を図-6 に示す。

4. 実験結果

スペクトル解析の結果を図-7 に、算出した固有振動数の軌跡を図-8 に、平均振動数と標準偏差を表-1 にそれぞれ示す。表-1 から、標準偏差の最大値は 7 次の約 0.15Hz であり、このことから高精度に固有振動数を算出することができたと言える。また、検出した樺島大橋の常時微動を欠落することなくすべて転送することができたので、本システムによる橋梁の遠隔モニタリングが有効であることを確認することができた。

5. まとめ

本研究では、構造物の常時微動から固有振動数を高精度に自動推定することのできるモニタリングシステムを開発し、遠隔計測への適用を図った。また、本システムを樺島大橋に適用した遠隔モニタリング実験を行い、実験結果からシステムの有効性を検証した。

【参考文献】1) 木村、岡林、奥松、中宮：高精度振動特性推定法による道路橋損傷の検出可能性の検討、土木学会第 58 回年次学術講演概要 第 I 部門、pp.1279-1280（平成 15 年 9 月）

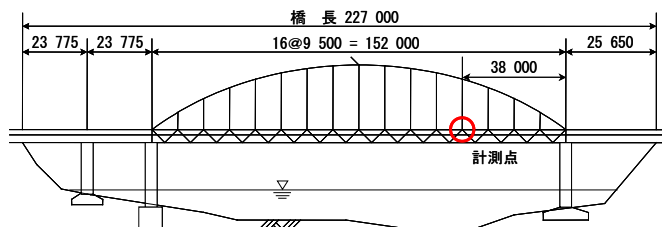


図-4 樺島大橋の諸元



図-5 位置関係

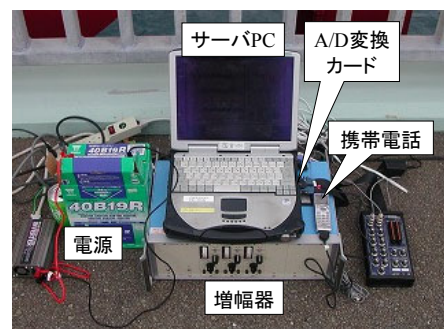


図-6 計測器の構成

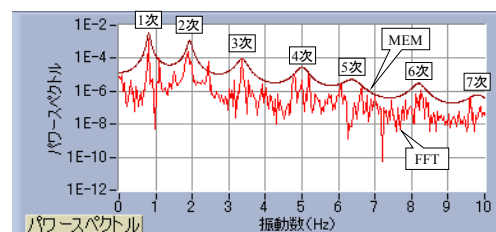


図-7 スペクトル解析

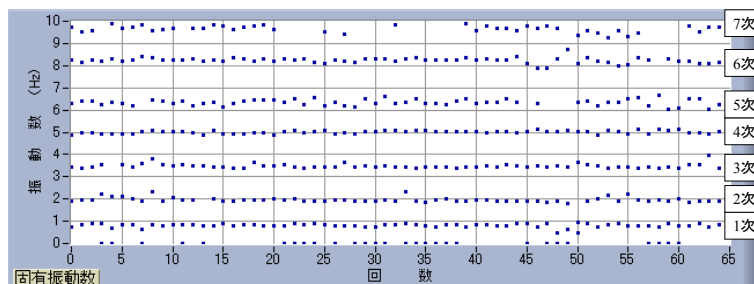


図-8 樺島大橋の固有振動数

表-1 平均振動数と標準偏差

単位:Hz	1次	2次	3次	4次	5次	6次	7次
平均振動数	0.807	1.965	3.503	5.075	6.564	8.381	9.639
標準偏差	0.075	0.107	0.094	0.068	0.132	0.119	0.149